

Detectores de Luz

U.Barres - A.Fauth - A.Machado - A.Massafferri
CBPF UNICAMP UNICAMP CBPF

Detectando a luz

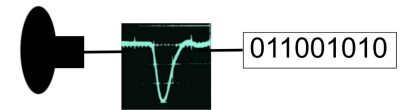
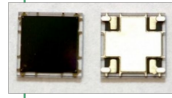
Ingredientes básicos:

- Energia da luz a ser detectada
(Comprimento de onda)
- Meio de interação

P&D

DETECTOR:

- Foto sensor
(PMT, APD, **SiPM**...)



Crosscheck
-Simulação

Processamento de
dados e Análise e
-Software dedicado

-Eletronica de leitura
-Sinais elétricos digitalizados

Detectando a luz

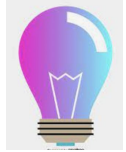
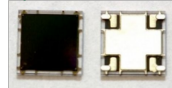
Ingredientes básicos:

- Energia da luz a ser detectada
(Comprimento de onda)
- Meio de interação

P&D

DETECTOR:

- Foto sensor
(PMT, APD, **SiPM...**)



Fonte de luz



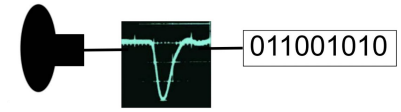
Foto detector



Foto sensor



Análise



Crosscheck
-Simulação

Processamento de
dados e Análise e
-Software dedicado

-Eletronica de leitura
-Sinais elétricos digitalizados

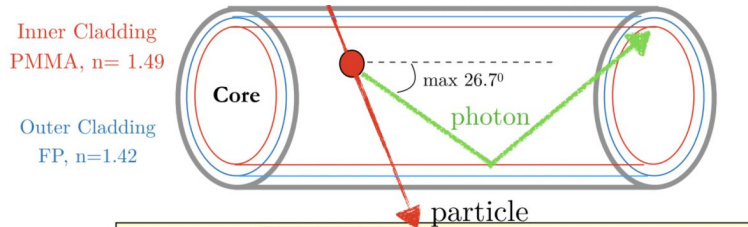
Tecnologias de Fotodetectores

Tópicos de Física	Motivação → Estudo das propriedades das partículas elementares Meio → Colaborações/Experimentos internacionais
Técnicas de Detecção	Cintilação em Fibras e em Argônio Líquido Cherenkov em água
Tecnologia em desenvolvimento	SiPM Fibras Cintilantes Finas ARAPUCA - X-ARAPUCA - C-ARAPUCA Wavelength Shifters Filtros Dicroicos Materiais para purificação de Argônio Líquido

Fibras Cintilantes Finas e SiPMs

Upgrade no sistema de tracking do Experimento LHCb

SciFi - novo sistema de tracking do experimento **LHCb** baseado em fibras cintilantes



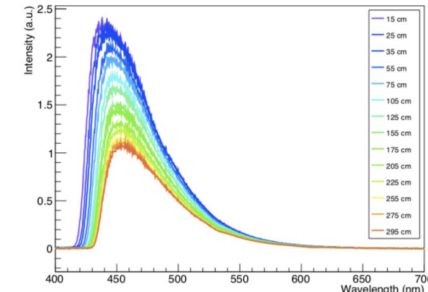
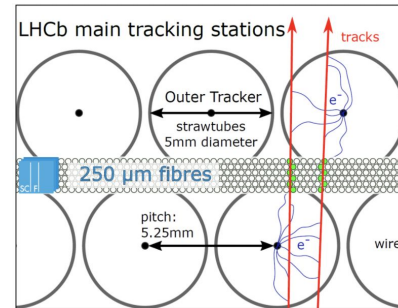
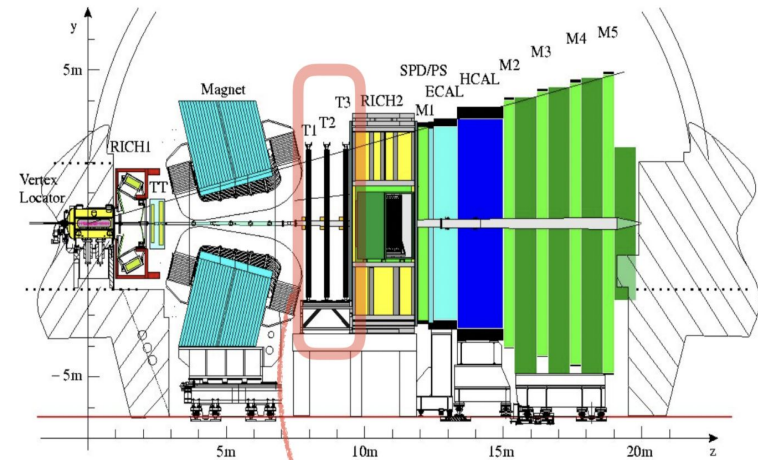
Aumenta a segmentação no outer tracker
Preserva a resolução espacial no inner tracker

Fibra poliestireno dopada com PTP + WL

Espectro de emissão de PTP em torno a 350nm

Comprimento da fibra \rightarrow 2,5m

Readout - SiPM (Hamamatsu S13552)

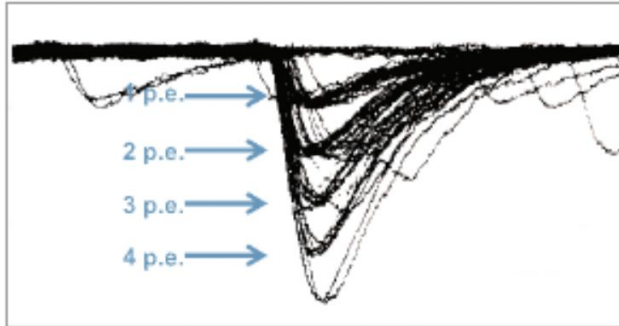


emission spectrum @ length

Fotomultiplicador de silício

Avalanche de carga em fotodiodo → nova (~30 anos) vedete dos fotosensores

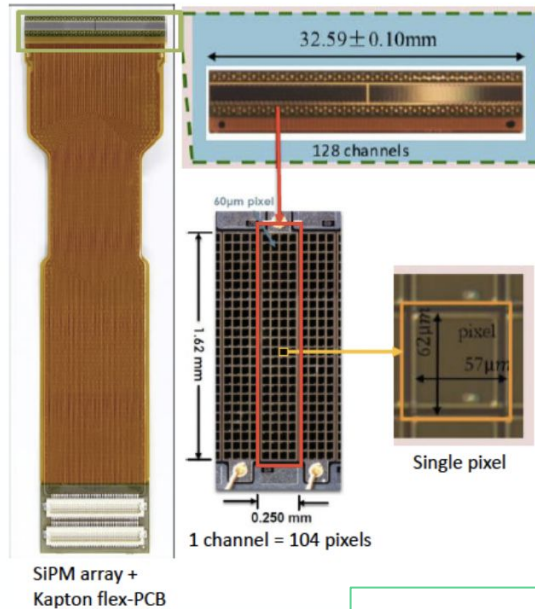
carga discretizada → Modo Geiger
 contador de fótons
 sensibilidade a poucos fótons



empresas: Hamamatsu (colaboração com LHCb → CBPF), Ketec, AdvanSid, Broadcom, Phillips

dimensões reduzidas e preços competitivos comparado a PMTs

várias geometrias:
 single, array, matriz



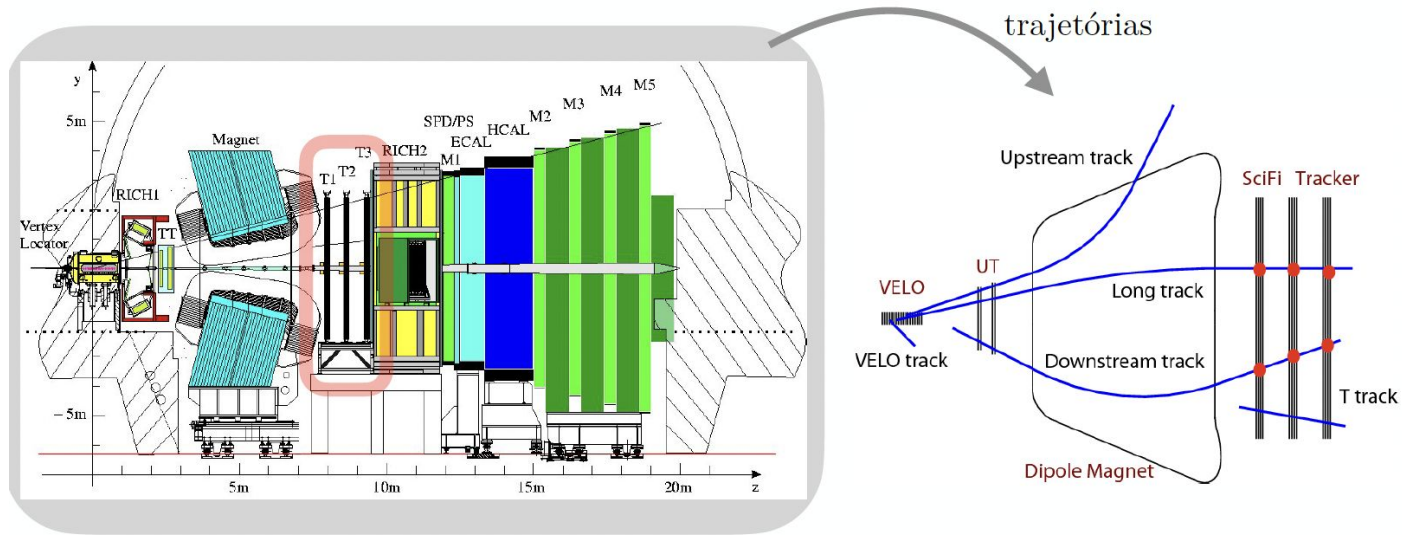
MPPC array S13552

Desenvolvido exclusivamente para o experimento LHCb

https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/mppc/mppc_array/S13552.html

Novo sistema de trajetografia do LHCb

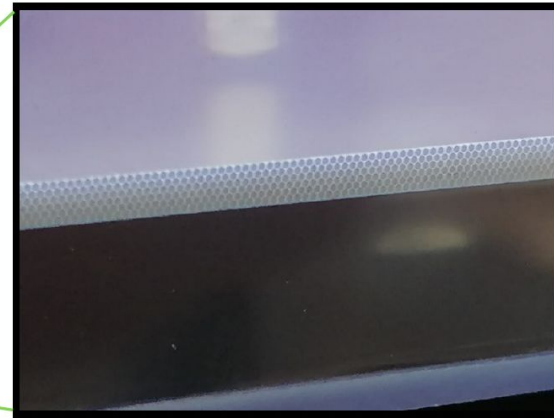
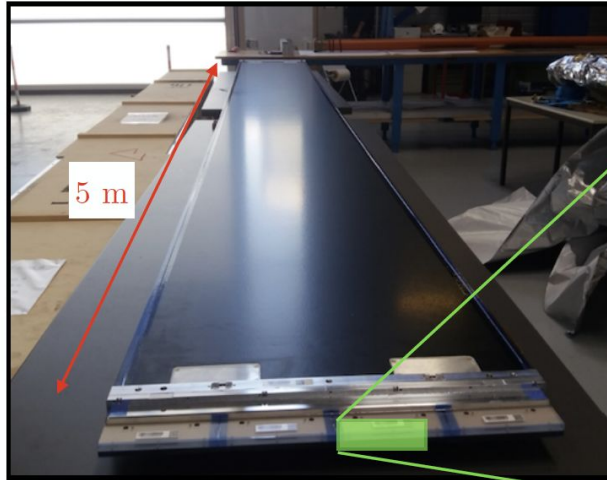
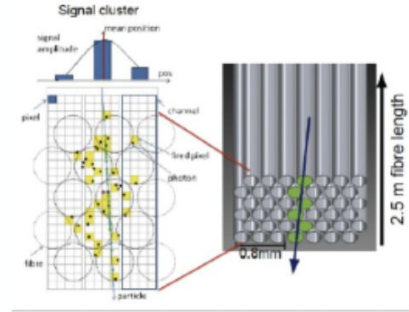
- * Medida precisa de posição de partículas carregadas: reconstrução da trajetória. Espinha dorsal de experimentos de Física de Partículas.



Upgrade LHCb/CERN: Maior detector de alta precisão já construído utilizando tecnologia de fibras cintilantes ultra-finas lidas por SiPM.

Novo sistema de trajetografia do LHCb

- * Grande interesse do indústria Médica:
Imageamento
- * Maiores áreas por menor preço e com menor espalhamento de partículas, se comparado com tecnologia usual de Silício.



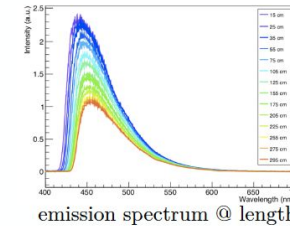
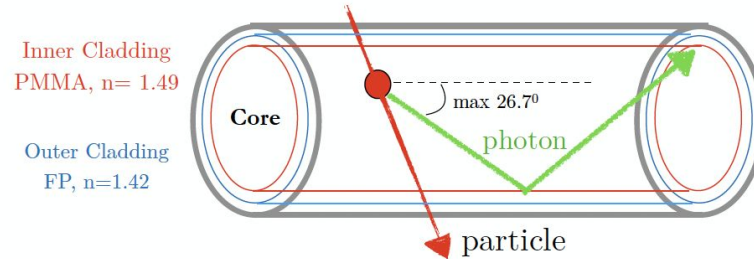
● Resolução espacial de ~ 70 microns e eff de $\sim 99\%$. Clusterização na eletrônica

Novo sistema de trajetografia do LHCb

* Maiores desafios: tecelagem de precisão, qualidade da fibra e sensibilidade dos foto-sensores a poucos fótons.



275 μm pitch



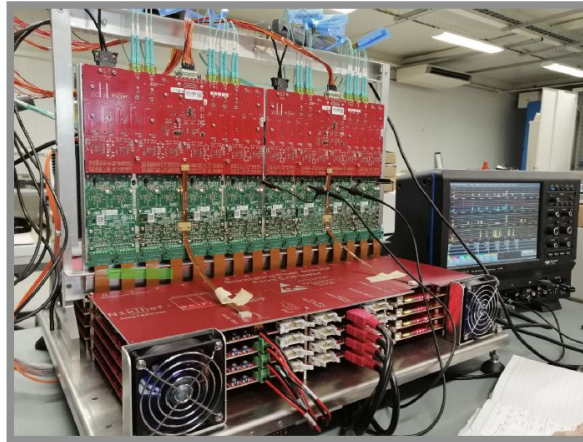
PTP: mesmo WLS usado no PDS DUNE

double cladded round fibres **Kuraray SCSF-78MJ** solvent Polystyrene, activator PTP and WLS

Novo sistema de trajetografia do LHCb

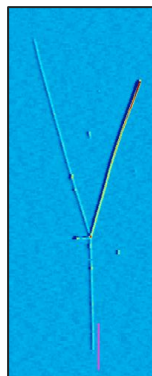
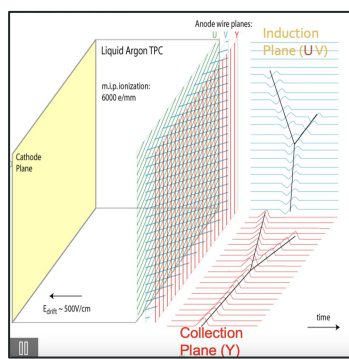
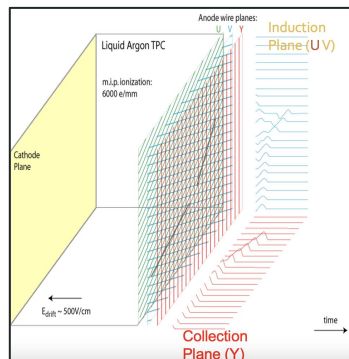
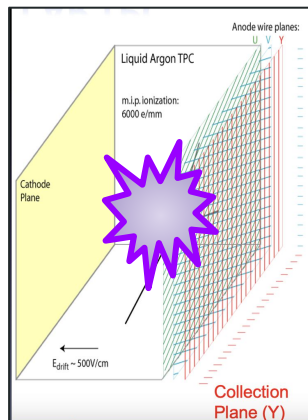
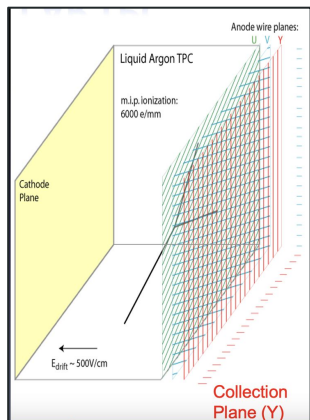
* Participação ativa de grupo CBPF em todas as etapas, com ênfase na eletrônica: 4 teses defendidas, destaque na visita do ministro C&T ao CERN

Transferência
Tecnológica



Grande potencial de transferência tecnológica. Estudos já iniciados com protótipo produzido pelo LHCb/CBPF (3x3 cm²). Intenção de iniciar produção de módulos com fibras de 1mm no Brasil. Calibração será feita em sistema de trajetografia de $\delta=200$ microns em construção no CBPF (doação straw-tube do LHCb).

Detectores de Luz de Cintilação em Argônio Líquido



LArTPC é capaz de medir as interações de neutrinos e outras partículas em tempo real com uma resolução na posição da ordem de sub-milímetros, permitindo assim:

- Reconstrução da **trajetória** da partícula
- Identificação da partícula
- Discriminação **elétron/gamma**

muito além do que qualquer outro método pode oferecer.

Interação (Neutrinos , proton decay) \rightarrow Fótons VUV \rightarrow 128 nm

Energia alguns MeVs a GeV . (Acelerador, Sol, Supernova, proton decay.

Fotodetector chamado ARAPUCA

Aprisionar fótons produzidos pela cintilação do argônio líquido, **até que estes fótons sejam detectados** pelos **SiPMs** que estão acoplados a este dispositivo.

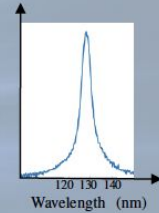
Filtros Dicroicos + Deslocadores de comprimento de onda



ARAPUCA

Liquid Ar

VUV - 128 nm



pTerP UV-A - 350 nm

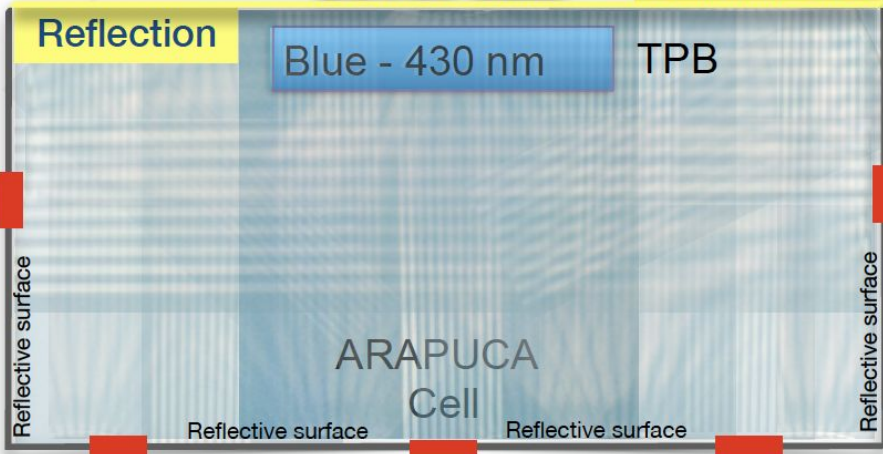
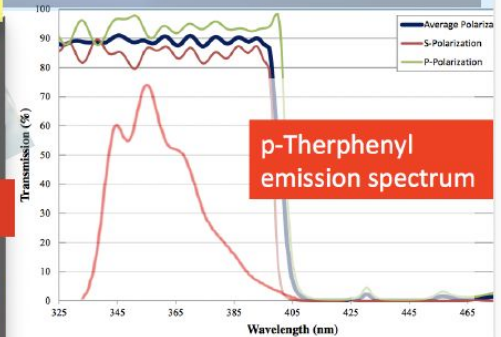
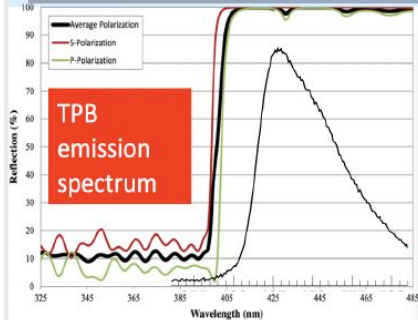
Dichroic Glass

Transmission

Reflection

Blue - 430 nm

TPB

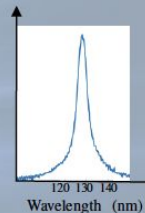


PhotoSensors

X-ARAPUCA

Liquid Ar

VUV - 128 nm



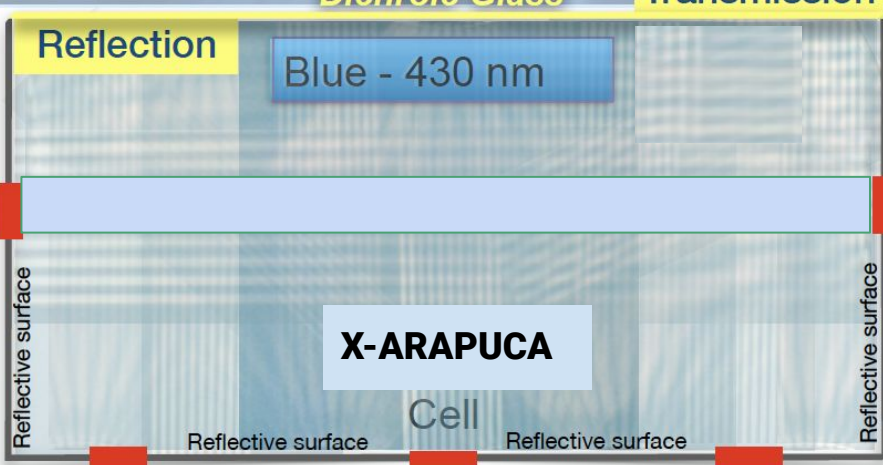
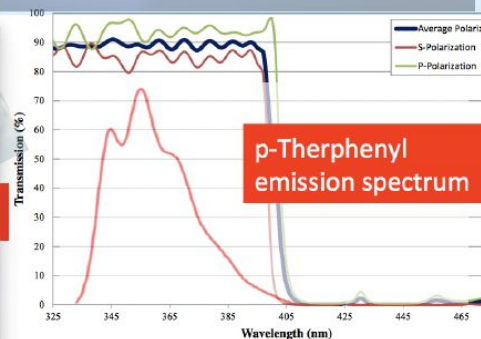
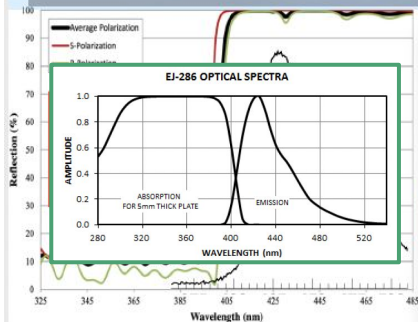
pTerP UV-A - 350 nm

Dichroic Glass

Transmission

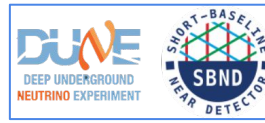
Reflection

Blue - 430 nm



PhotoSensors

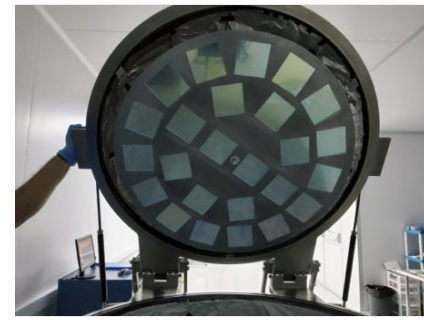
Pesquisa e Desenvolvimento



- Caracterização de Wavelength Shifters
- Otimização da técnica de deposição
- Desenvolvimento de Filtros dicroicos
- Mídias de purificação do Argônio Líquido
- Desenvolvimento de Software (Simulação e Análise)
- Produção de protocolos e controle de qualidade



Pesquisa e Desenvolvimento



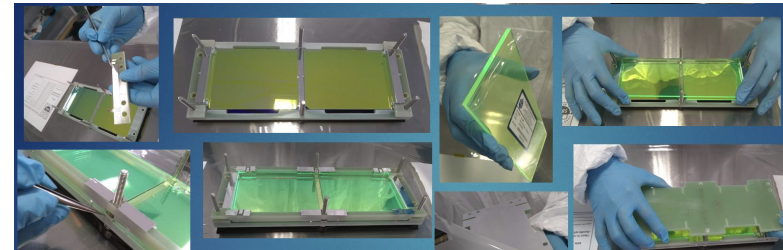
Experimento DUNE

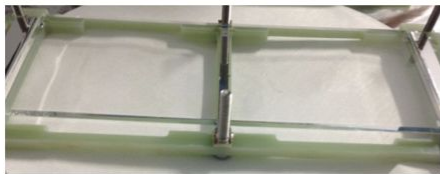
- 160 supercelulas de X-ARAPUCA montadas no Laboratório de Leptons (UNICAMP)
- Desenvolvimento e construção de um setup criogênico para testar novos materiais para a purificação do Argônio Líquido (UNICAMP-UFSC – CBPF - Equatorial)
- Construção de monitores de pureza
- Estudo de nova geometria da X-ARAPUCA proposta para o segundo modulo (vertical drift) e simulação (UNICAMP-UTFPR-UFABC-UFSC)



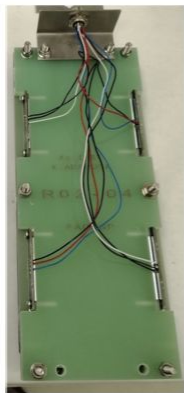
Experimento SBND

- 200 X-ARAPUCA modules foram inteiramente produzidos montados (UNICAMP-CTI) e enviados ao FERMILAB
- Eletrônica de leitura APSAIA, calibrada e testada

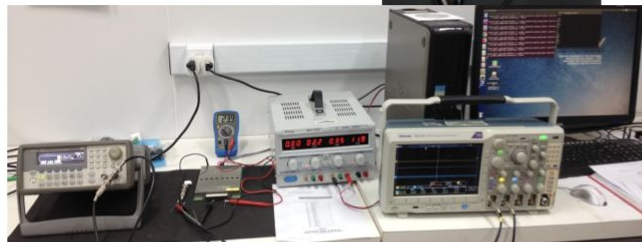
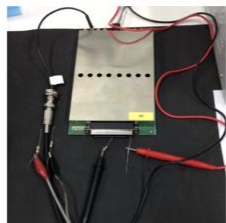




X-RAPUCA modules for SBND



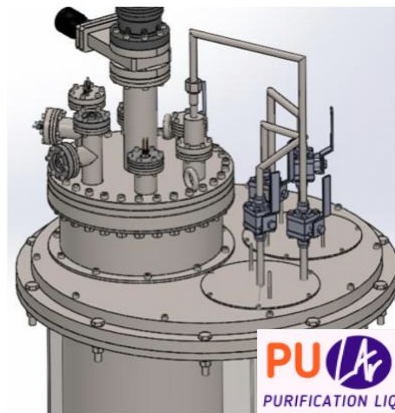
Test on APSAIA front-end



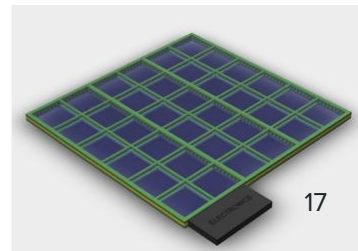
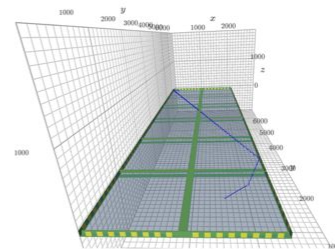
X-ARAPUCA supercell
DUNE first module



Cryostat for media tests



Simulation and conceptual Design for DUNE second module





Óptica
 Ciência de Materiais
 Detectores Cerenkov



Detectores Cerenkov → C-Arapuca



O **C-Arapuca** é um X-Arapuca desenvolvido especialmente para detectar fótons emitidos pela **radiação Cerenkov em água**.

As particularidades do C-Arapuca são:

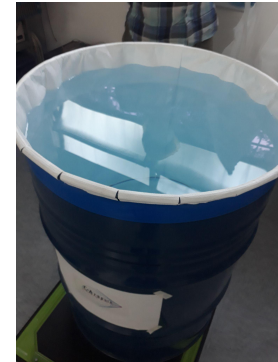
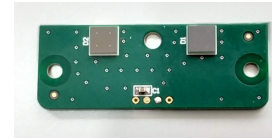
- Detecção no espectro Cerenkov (entre 300 nm e 400 nm)
- Vantagem → Não há a necessidade de deposição de WLS na parte externa do filtro
- Desafio tecnológico → Funcionamento dos SiPM em água.



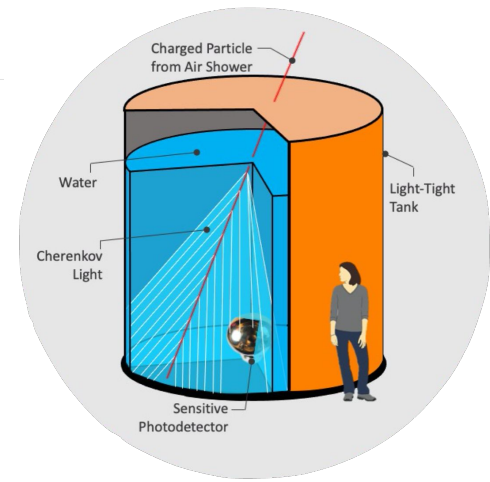
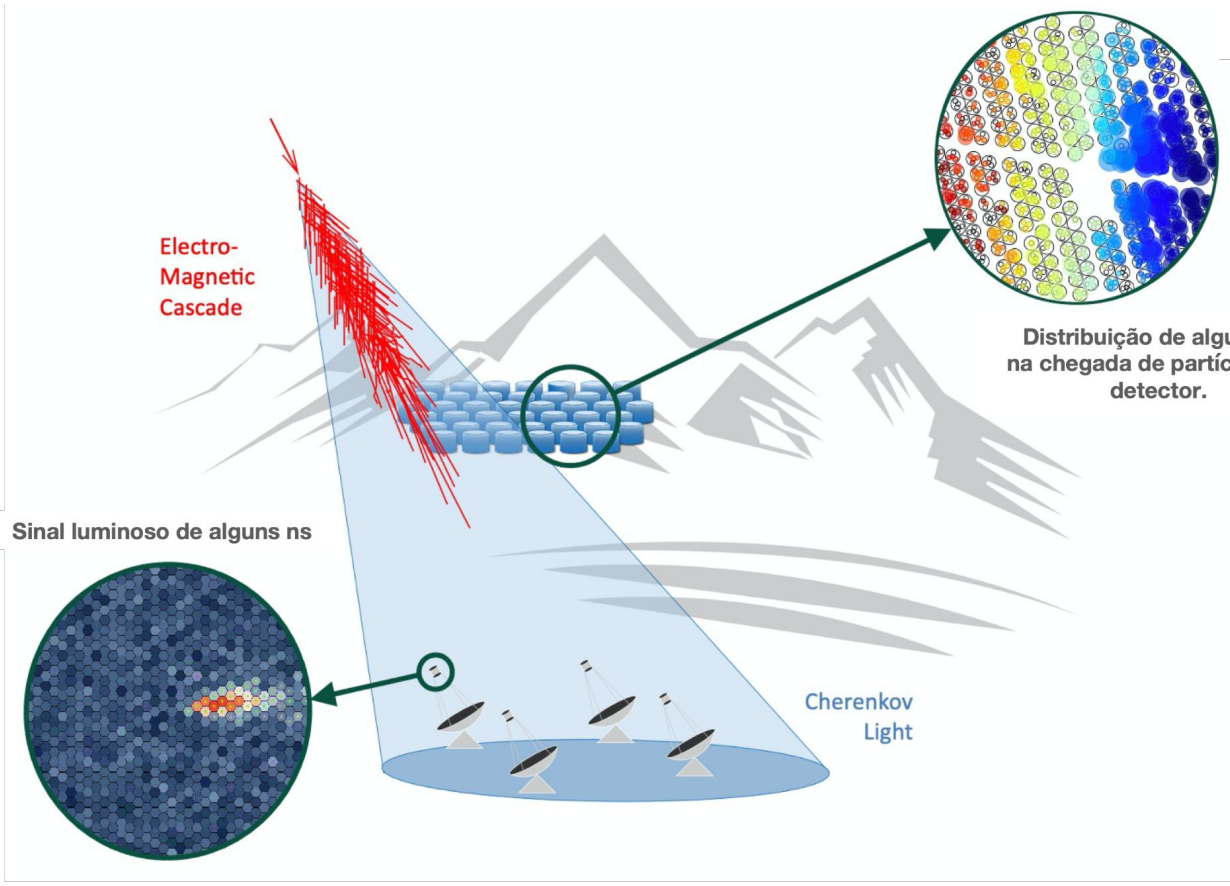
Aplicações

- Próxima geração de experimentos Cerenkov - **LAGO, SWGO...**
- Clima espacial
- Efeito da Anomalia do Atlântico Sul

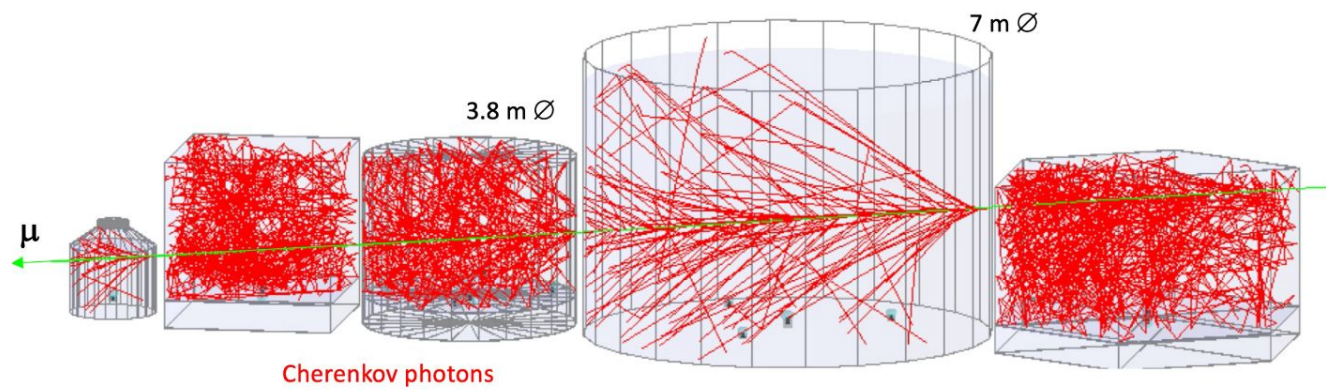
Atualmente um protótipo está sendo testado em um tanque de 200lt de água deionizada no Laboratório de Léptons na Unicamp



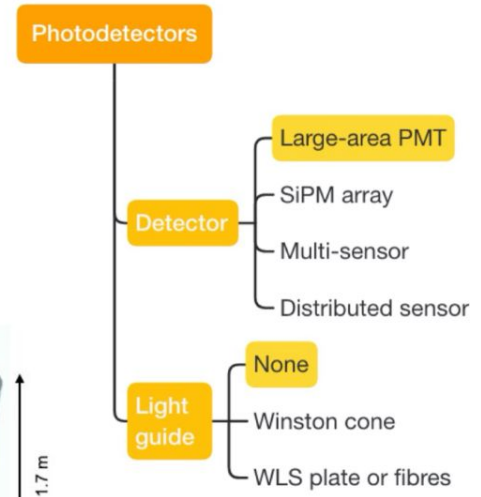
Duas técnicas complementares para a detecção Cherenkov



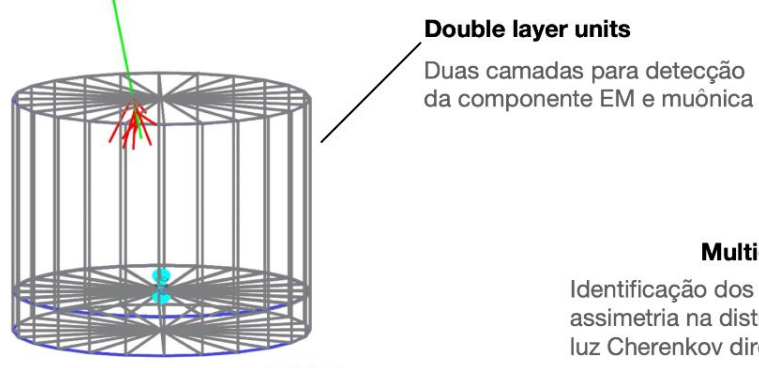
Simulação / otimização do design dos tanques



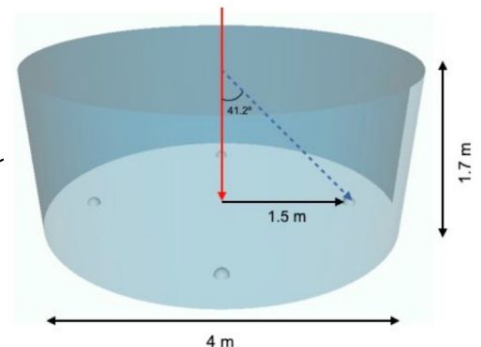
Opções Design



Identificação dos muons é elemento fundamental para separação gama/hadron — propostas alternativas:



Multi-PMT units
Identificação dos muons pela assimetria na distribuição de luz Cherenkov direta



Samridha Kunwar

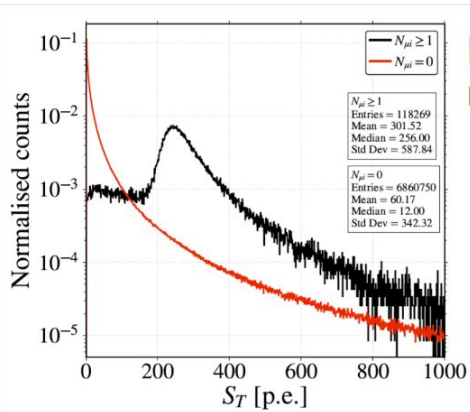
Performance das unidades multi-PMT

$E \sim 1 \text{ TeV}; \theta \sim 10^\circ$

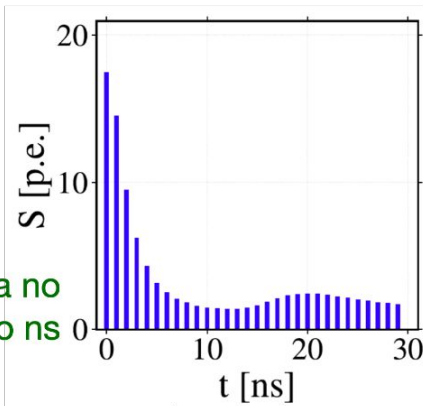
Empresa Brasileira



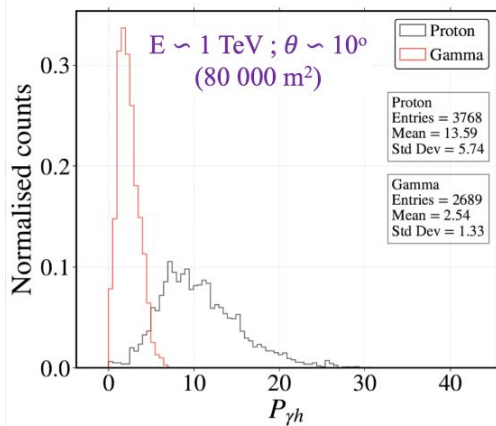
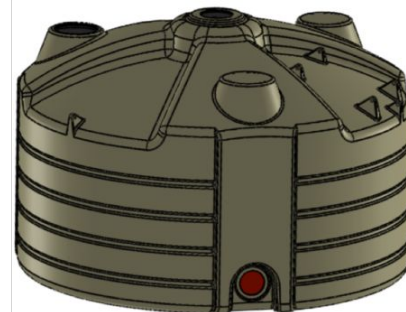
Rotoplastyc



No de p.e. (VEM) ~ 270
muito confortável

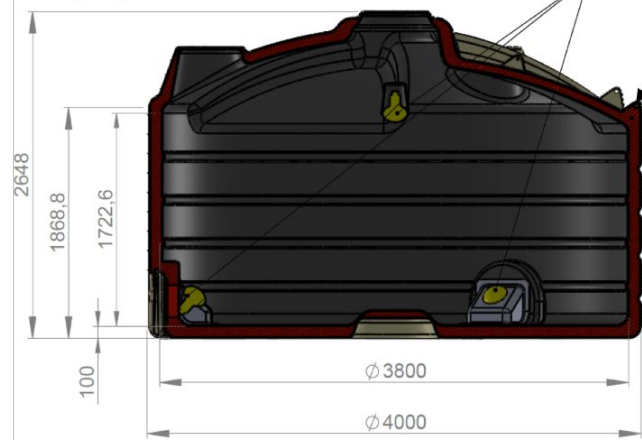


Luz direta chega no primeiro ns



$$P_{\gamma h} = \sum P_{\mu i}$$

$P_{\mu i}$ = Probabilidade de que existe pelo menos 1 múon (ou partícula de alta energia na estação i



RPC para a caracterização de protótipo



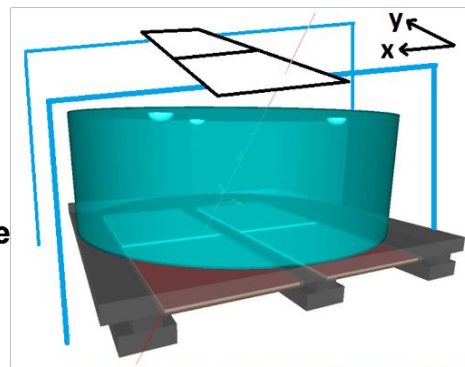
Set-up híbrido para caracterização dos tanques WCD:

Hodoscópio RPC

4xRPCs Plano Inferior (256 PADs)

2xRPCs Plano Superior, com offset X programável

Tanque WCD no centro (20m³ de água),
instrumentado com 3 PMTs.



Set-up usado para caracterizar:

- Estações MARTA (Auger)
- Detector WCD protótipo para SWGO
- C-ARAPUCA
- Set-up de hidrofones



Detalhes da RPC



❑ Detetores RPC detectors para ambientes externos

Operação em modo avalanche

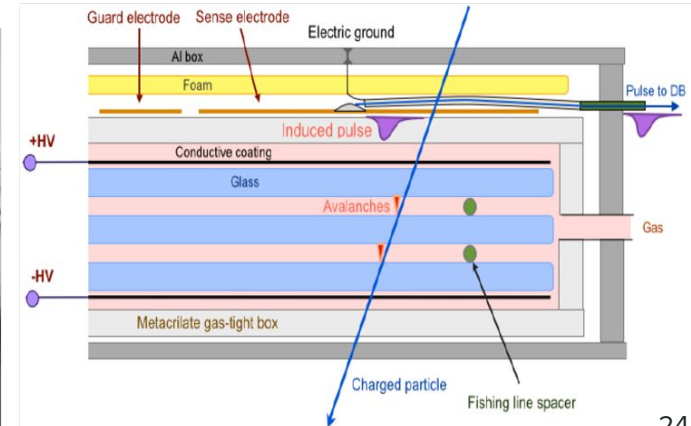
Baixo percentual de streamers

2 GAPs

Baixo fluxo de gás (2CC/Minuto)



Montagem dos detetores no Laboratório de Desenvolvimento de Detetores do CBPF - Laboratório Neusa Amato



Grupos Brasileiros envolvidos em fóton detecção

UNICAMP

CBPF

UTFPR

USP

UFSCAR

UNIFAL

UFABC

UNIFESP

Financiamento Brasileiro



Experimentos

DUNE

SBND

LHCb

LAGO

SWG0

AUGER

CTA

COSINE

CONNIE

ANGRA